ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ, 1994, том 21, № 3, с. 339 - 343

КАЧЕСТВО, ОХРАНА ВОД, ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

УДК 556.537

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ДИСПЕРСИИ ПО ЭМПИРИЧЕСКИМ ДАННЫМ

© 1994 г. А. С. Орлов, Н. В. Кирпичникова

Институт водных проблем Российской академии наук
107078 Москва, ул. Ново-Басманная, 10

Поступила в редакцию 13.08.92 г.

Излагается подход к расчету распространения растворенной пассивной примеси, при котором этот процесс рассматривается как одномерная дисперсия. Приводится способ вычисления коэффициента дисперсии по дисперсии скорости в створах на различных объектах, в том числе и на проточном Иваньковском водохранилище.

Уравнение одномерной адвективной дисперсии широко применяется при расчетах распространения примеси в реках и каналах [5, 10] на значительном удалении от ее источника. Здесь рассматривается оценка коэффициента продольной дисперсии D_x при случайном блуждании частиц (элементов жидкости) в потоке.

Уравнение, описывающее распространение примеси в водотоке, имеет вид [4]

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \hat{U}\frac{\partial p}{\partial x} = D_x\frac{\partial^2 p}{\partial x^2}, \quad (1)$$

где p – плотность вероятностей распределения примеси массы M вдоль оси потока, x – криволинейная ось координат (в данном случае совпадающая с фарватером), $\hat{U}$ – средняя по сечению скорость течения.

Решение этого уравнения в случае мгновенного точечного выпуска примеси в момент времени $t = 0$ в точке x_0 и при $p \longrightarrow 0$, если $x \longrightarrow \infty$, известно:

$$p = \frac{1}{2\sqrt{\pi D_x t}}\exp\left\{-\frac{[x_1 - x(x_0, t)^2]}{4D_x t}\right\}, \quad (2)$$

где $x(x_0, t)$ – створ, в который попадает примесь, двигаясь со средней по сечению водотока скоростью, x_1 – координата точки наблюдения.

Если предположить, что вся масса примеси M в начальный момент времени равномерно распределена в слое единичной толщины в ств. x_0, то $C_0 = M/S(x_0)$, где C_0 – условная начальная концентрация, $S(x)$ – площадь сечения водотока в ств. x. Учитывая, что в реальном водотоке $S(x) \neq \text{const}$, получаем

$$C(x, t) = C_0 p(t)S(x_0)/S(x). \quad (3)$$

Чтобы использовать уравнения (1) - (3), необходимо соблюдать следующие условия:

$$\frac{\partial S}{\partial t} = \frac{\partial Q}{\partial x} = \frac{\partial D_x}{\partial x} = 0, \quad (4)$$

$$p\frac{\partial \hat{U}}{\partial x} \ll \hat{U}\frac{\partial p}{\partial x}, \quad (5)$$

где Q – расход воды в сечении русла.

В (2) D_x может быть рассчитан по результатам измерения концентрации примеси (искусственной или естественной) [5], переносимой потоком, либо по заданным в сечении водотока распределениям скоростей течения и коэффициентов турбулентного обмена с помощью общепринятых формул Х. Фишера и Дж. Эльдера [5, 10, 13]:

$$D_x = -\frac{1}{S}\int_0^B [U(y) - \hat{U}]\, h(y)\int_0^y \frac{1}{\varepsilon_y h(y')}\int_0^{y'} \times$$
$$\times [U(y'') - \hat{U}]\, h(y'')dy''\, dy'\, dy, \quad (6)$$
$$\varepsilon_y = 0.23hU_*,$$

где U_* – динамическая, $U(y)$ – средняя по вертикали скорость потока, $h(y)$ – глубина в точке y, ε_y – коэффициент турбулентной диффузии по y. Скорость течения осреднена по времени и вклад турбулентной диффузии не учитывается. Чтобы воспользоваться формулами (6), необходимо задать весьма подробно распределения $U(y, z)$ и $h(y)$ в створе, что связано с техническими трудностями при натурных измерениях, поэтому, например, в [9] рекомендуется сочетать измерение $U(y, z)$ с расчетом, что позволяет уменьшить шаг интегрирования и повысить точность вычисления D_x.

Кроме этих двух методик при расчете D_x часто используются эмпирические формулы [1].

В большинстве случаев они могут быть представлены в виде

$$D_x = f(\lambda, \hat{U}, R, B),$$

где λ – коэффициент гидравлического трения (обычно вводится через динамическую скорость или уклон), R – гидравлический радиус, B – ширина водотока по поверхности (необязательный параметр).

Набор аргументов в этой формуле вполне достаточен для описания равномерных потоков (в этом случае практически полностью определяется турбулентный обмен). В реальных реках дисперсия примеси может быть сильно связана с формой русла в сечении и в плане плохо учтенными перечисленными параметрами. Авторы [3, 14] пытались учесть влияние формы русла в сечении и в плане, но полученные ими результаты не были распространены.

Применение уравнения (1) для описания процесса дисперсии основано на аналогии между диффузией и дисперсией, при этом определение коэффициентов диффузии (или дисперсии), как правило, основано на градиентной теории. Как известно, коэффициенты диффузии могут быть определены с помощью теории Тейлора через корреляцию смещений блуждающих частиц [11]. Подобные соотношения могут быть получены и для коэффициента дисперсии. Такой подход использовался в [13, 14].

Очевидно, что частица, находящаяся при $t = 0$ в точке $x = 0$, за время t сместится вдоль траектории по оси x на расстояние

$$x(t) = \int_0^t U(\tau)\,d\tau.$$

Домножая обе части равенства на $U(t)$ и учитывая, что

$$U(t)x(t) = \frac{1}{2}\frac{dx^2}{dt},$$

получим[1]

$$\frac{1}{2}\frac{dx^2}{dt} = \int_0^t U(t)\,U(\tau)\,d\tau.$$

[1] Положив мгновенные значения скорости и расстояния равными $U + u'$ и $x + x'$ соответственно, после осреднения по вероятности получим

$$\frac{1}{2}\frac{dx^2}{dt} + \frac{1}{2}\frac{d\overline{x'^2}}{dt} = \int_0^t U(t)U(\tau)d\tau + \int_0^t \overline{u'(t)u'(\tau)}\,d\tau.$$

Здесь первый интеграл определяет адвекцию примеси в потоке, а второй – турбулентную диффузию.

Положив

$$d\tau = \frac{d\tilde{x}}{\hat{U}(x)}, \quad \hat{x} = \int_0^t \hat{U}(x)\,d\tau, \quad \tilde{x} = \int_0^\tau \hat{U}(x)\,d\tau', \tag{7}$$

заменим в предыдущей формуле переменные

$$\frac{1}{2}\frac{dx^2}{dt} = \int_0^{\hat{x}} \frac{U(\hat{x})U(\tilde{x})}{\hat{U}(\hat{x})}\,d\tilde{x}.$$

Осредним обе части полученного соотношения по сечению в ств. x:

$$\frac{1}{2}\frac{d\langle x^2\rangle}{dt} = \frac{1}{\hat{U}(\hat{x})}\int_0^{\hat{x}} \langle U(\hat{x})\,U(\tilde{x})\rangle\,d\tilde{x}. \tag{8}$$

Здесь $\langle\ \rangle$ означают осреднение по сечению потока:

$$\langle U(\hat{x})\,U(\tilde{x})\rangle = \frac{1}{S(\hat{x})}\int_0^B\int_0^{h(y)} U(\hat{x})\,U(\tilde{x})\,dz\,dy =$$

$$= \frac{1}{S(\hat{x})}\int_0^B\int_0^{h(y)} U'(\hat{x})\,U'(\tilde{x})\,dz\,dy + \hat{U}(\hat{x})\,\hat{U}(\tilde{x}) = \tag{9}$$

$$= \sigma_u(\hat{x})\sigma_u(\tilde{x})r(\xi) + \hat{U}(\hat{x})\,\hat{U}(\tilde{x}),$$

где $U' = U - \hat{U}$, $\xi = \hat{x} - \tilde{x}$, $r(\xi)$ – аналог автокорреляционной функции, $\sigma_u(\hat{x})$ и $\sigma_u(\tilde{x})$ – среднеквадратические отклонения скорости воды от $\hat{U}(\hat{x})$ и $\hat{U}(\tilde{x})$ в сечениях $\hat{x}$ и $\tilde{x}$ соответственно.

Пусть $\hat{U}(\hat{x}) \approx \hat{U}(\tilde{x})$ и $\sigma_u(\hat{x}) \approx \sigma_u(\tilde{x})$, т.е. скорость изменяется незначительно при значениях $|\hat{x} - \tilde{x}|$ приблизительно до $2L$. Тогда

$$\frac{1}{2}\frac{d\,(\hat{x}^2 + \sigma_x^2)}{dt} = \frac{\sigma_u^2(\hat{x})}{\hat{U}(\hat{x})}\int_0^{\hat{x}} r(\xi)\,d\tilde{x} + \hat{U}(\hat{x})\int_0^t \hat{U}(\tau)\,d\tau,$$

где σ_x^2 – дисперсия распределения примеси вдоль оси x.

Так как

$$\frac{1}{2}\frac{d\hat{x}^2}{dt} = \hat{U}(\hat{x})\int_0^t \hat{U}(\tau)\,d\tau = \hat{U}(\hat{x})\,\hat{x},$$

то

$$D_x = \frac{1}{2}\frac{dx^2}{dt} = \frac{\sigma_u^2(\hat{x})}{\hat{U}(\hat{x})}\int_0^{\hat{x}} r(\xi)\,d\tilde{x} \tag{10}$$

и, если при $\hat{x} \longrightarrow \infty$ интеграл от $r(\xi)$ в (10) стремится к конечному пределу L,

$$D_x = \sigma_u^2 \frac{L}{\hat{U}(\hat{x})}. \quad (11)$$

Такое представление накладывает определенные ограничения на поле скорости: при $\hat{U} \longrightarrow 0$ выражение (11) теряет смысл.

Параметр L является масштабом дисперсии и может быть истолкован как минимальное расстояние между створами, начиная с которого распределения скоростей в этих створах можно считать независимыми. Вычислить $r(\xi)$ непосредственно невозможно, поэтому естественно попытаться связать величину L с одним из масштабов русловых форм, например со средней протяженностью излучин или радиусом корреляции автокорреляционной функции отклонений тальвега от условий оси [2]. В общем случае масштаб L может зависеть от многих параметров (например, от фрактальной размерности [7]), в том числе характеризующих картину русла в плане.

В [2] измерялись отклонения фарватера Нижней Волги от условной оси и вычислялась их автокорреляционная функция $r(\xi)$ вдоль этой оси. Соответствующий интегральный масштаб, рассчитанный до первого нуля $r(\xi)$, оказался приближенно равным $5\bar{B}$ ($\bar{B}$ – средняя ширина русла по поверхности). Средняя протяженность излучин равнинных рек обычно оценивается [7] величиной (5 - 7) $\bar{B}$. Поскольку поперечный профиль скорости на протяжении излучины полностью перестраивается, выбор ее длины в качестве масштаба дисперсии кажется оправданным. При формальном переходе к прямому руслу в этом случае $L \longrightarrow \infty$, а $r(\xi) \longrightarrow \text{const}$, так как распределение скорости во всех сечениях одинаково. Для принятых условий из (10) для прямого канала получим

$$D_x \approx \frac{\sigma^2(\hat{x})}{\hat{U}(\hat{x})} r\hat{x}. \quad (11a)$$

При ламинарном течении $r = 1$. Физическая определенность такого перехода также служит доводом в пользу выбора масштаба L, равного средней длине излучины.

В дальнейшем выражение $L \sim 5\bar{B}$ принято в качестве ориентировочного для равнинных рек с ограниченным меандрированием. Однако такой способ вычисления L необходимо проверить на экспериментальном материале.

Дисперсию скорости в створе, также входящую в (11), можно определить по формуле

$$\sigma_u^2 = \frac{1}{S}\int_0^B\int_0^{h(y)} [U(y, z) - \hat{U}]^2 dzdy, \quad (12)$$

или

$$\sigma_u^2 = \frac{1}{S}\int_0^B\int_0^{h(y)} [U(x, y) - U(y)]^2 dzdy + \frac{1}{B}\int_0^B [U(y) - \hat{U}]^2 dy. \quad (12a)$$

В (12а) первый интеграл определяет дисперсию распределения скорости по вертикали, второй – по ширине.

Для прямой экспериментальной проверки приведенной методики необходимо располагать результатами измерений поля скорости по сечениям, коэффициента дисперсии, полученного с помощью трассеров, и достаточно подробным планом ряда рек и каналов. К сожалению, такими данными мы не располагаем, поэтому контрольные расчеты для рассматриваемых объектов осуществлялись с помощью (6), если это было возможно, и эмпирических формул [1].

По данным, приведенным в [1], оценим изменчивость отношения L/B, предположив, что рассматриваемые потоки плоские с профилем скорости

$$U(y, z) = (1 + \alpha)U(y)[z/h(y)]^{\alpha}, \quad (13)$$

где α – показатель степени, который соответствует суммарному в сечении реки трению и определяется зависимостью [8]

$$\alpha = U_* / \kappa \hat{U}, \quad (14)$$

$\kappa = 0.4$ – постоянная Кармана.

С помощью соотношений (12) - (14) получим

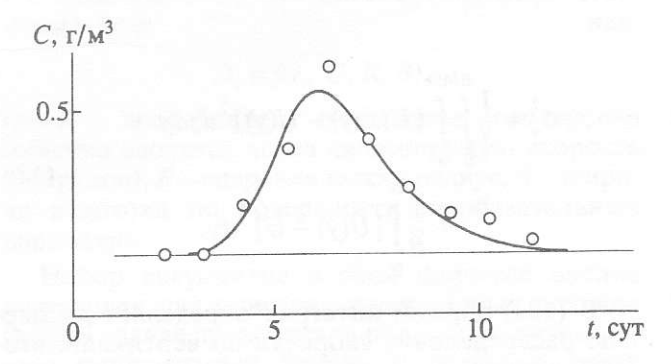
$$\sigma_u^2 = (\alpha^2 \hat{U}^2) / (1 + 2\alpha), \quad L = D_x / \sigma_u^2. \quad (15)$$

Таким образом, L/B ([1], табл. 2) изменяется приблизительно от 4 до 20, причем для прямых лотков – от 17 до 20. В этой таблице $D_x/RU_* \in [9.8; 558]$.

Далее был выбран объект (р. Педедзе [6]) с подробно промеренными в сечении полем скорости и профилем дна, для которого D_x рассчитывался по (6) при

$$\varepsilon_y = 0.23RU_*. \quad (16)$$

С помощью измеренных значений $U(y, z)$ методом наименьших квадратов определялся показатель степени α (в логарифмическом приближении) в предположении справедливости закона распределения скорости (13). Динамическая скорость может быть определена по формуле (14), в которой использовалось среднеквадратическое значение α (осреднение осуществлялось по ширине реки). В результате было получено, что $D_x = 13.3$ м²/с.



Изменение во времени концентрации фосфора в ств. д. Плоски. Точки – эксперимент, кривая – расчет.

С помощью этих данных вычисления осуществлялись также по эмпирической формуле

$$\frac{D_x}{RU_*} = 0.88\left(\frac{\hat{U}}{U_*}\right)^{0.37}\left(\frac{B}{R}\right)^{1.49}, \quad (17)$$

рекомендованной в [1] при $B \sim 60$ - 70 м. В результате $D_x = 13.1$ м^2/с.

Вычисленный по (11), (12) при $L = 5B$ коэффициент дисперсии[2] в этом случае равен 12 м^2/с.

Как видно, результаты трех вариантов расчета D_x весьма близки.

По результатам измерений, проведенных на р. Киржач (подробное описание эксперимента дано в [10, гл. 5]), D_x рассчитывался по (11), (12) и (17) при $L = 5B$. Полученные значения коэффициентов дисперсии 2.9 и 3.5 м^2/с с учетом ограниченности применения эмпирических формул и условности выбора L удовлетворительно согласуются одно с другим. Не исключено также, что в этом случае $L > 5B$.

Для Иваньковского водохранилища расчеты D_x осуществлялись по результатам измерения расходов в восьми створах: г. Дубна (x = 0), о. Клинцы (x = 10.2 км), г. Корчева[3] (x = 18.4 км), г. Конаково (x = 36.6 км), д. Плоски (x = 42.4 км), о. Низовка (x = 53.7 км), с. Городня (x = 70.4 км), г. Эммаус (x = 93.4 км).

Расстояния определены от ств. Дубна по фарватеру с помощью лоцманской карты.

На участке г. Эммаус–с. Городня практически реализуется режим речного течения, поэтому здесь можно воспользоваться эмпирической формулой (для широких русел) [1]

$$\frac{D_x}{RU_*} = 2138\left(\frac{U_*}{\hat{U}}\right)^{1.63}. \quad (18)$$

При определении U_* по таблицам выбирался коэффициент шероховатости (0.03 - 0.06), а расчет осуществлялся по формулам Маннинга и Шези [12]. Если принять, что среднее для указанного интервала значение коэффициента шероховатости равно 0.045, то $D_x = 7.9$ м^2/с.

Согласно материалам Конаковского краеведческого музея, ширина русла реки в межень в конце XIX в. на участке выше с. Городня составляла ~160 м, т.е. $L \sim 800$ м при $L/B \approx 5$. В расчетах эта величина была оценочной, так как естественно предположить, что русло и пойма реки сформировались до создания водохранилища.

Коэффициент дисперсии в ств. г. Эммаус, вычисленный по (11), (12) при $L = 800$ м, равен 8.5 м^2/с (среднее значение).

Аналогично (по (11), (12) при $L = 800$ м) значение D_x было вычислено и в других створах. Разброс результатов этих вычислений оказался значительным. Очевидно, это связано с возникновением в водохранилище циркуляционных течений, ускоряющих перемешивание водных масс и увеличивающих дисперсию σ_u^2. Наибольший разброс D_x получился в створах о. Клинцы и г. Корчева (наиболее сложный широкий участок водохранилища). В ств. г. Дубна разброс несколько уменьшается (сказывается организующее влияние водослива). Очевидно, что наиболее простая картина течений реализуется при проточном установившемся режиме течения, чему должно соответствовать минимальное значение дисперсии скорости и, следовательно, D_x.

Коэффициенты дисперсии, отобранные в соответствии с этим принципом, имеют следующие значения: 10.6 (г. Дубна), 11.1 (о. Клинцы), 17 (г. Корчева), 18.0 (г. Конаково), 15.5 (д. Плоски), 19 (о. Низовка), 12 м^2/с (с. Городня). Среднее по длине водохранилище (г. Дубна–г. Эммаус) значение D_x равно 14 м^2/с.

Еще одна оценка D_x была получена по наблюдавшемуся в апреле в 1984 г. в ств. д. Плоски кратковременному всплеску концентрации общего фосфора[4] (рисунок). Предполагалось, что этот импульс сформировался в Шошинском заливе в результате начавшегося паводка на реках Шоше и Ламе, текущих с юга, и его дисперсия намного меньше дисперсии распределения, наблюдавшегося в ств. д. Плоски.

Оценка была выполнена по (2), (3) методом наименьших квадратов. При этом величина $C(x, t) - C_{\min}$ нормировалась на максимальное наблюдавшееся значение ($x_1 = x(x_0 t)$) и результат логарифмировался ($C_{\min} = 0.021$ г/м^3 – фоновая концентрация фосфора).

[2] При вычислении интеграла (6) использовалась сплайн-интерполяция профилей скорости и дна. Шаг интегрирования, обеспечивающий необходимую точность, $< B/200$, т.е. существенно меньше рекомендованного в [8] значения $B/20$. Интеграл (12) вычислялся методом трапеций.

[3] Город полностью затоплен.

[4] Учитывая значительное время добегания и низкую температуру воды (~0°С), при вычислении D_x можно приближенно считать фосфор нереагирующей примесью.

Влияние распределения скорости течения $\hat{U}$ вдоль водохранилища учитывалось следующим образом.

При установившемся режиме и в отсутствие сильного ветра поле скоростей Иваньковского водохранилища определяется расходом воды через плотину Q. В силу малой боковой приточности (<10%) на рассматриваемом участке этот расход можно считать независимым от x, в то же время скорость течения $\hat{U}$ плавно убывает при приближении к плотине.

По данным измерений расходов в названных выше створах была подобрана функция

$$\hat{U}(x, Q) = a_0 + a_1 x + a_2 Q + a_3 x^2 + a_4 Q^2 + a_5 x Q, \quad (19)$$

где x – расстояние по фарватеру, отсчитываемое от ств. г. Дубна.

Если $\hat{U}(x, Q)$ выражено в см/с, x – в км, а Q – в м^3/с, то $a_0 = 2.423$, $a_1 = -3.790 \times 10^{-2}$; $a_2 = -6.630 \times 10^{-3}$, $a_3 = 9.296 \times 10^{-4}$, $a_4 = 2.469 \times 10^{-5}$, $a_5 = 1.978 \times 10^{-4}$.

Аппроксимация (19) удовлетворительна (среднеквадратическое отклонение для всех створов составляет 1.35 см/с) при $Q \in [60, 800]$. Так как $Q(x) = \hat{U}(x, Q)\, S(x, Q)$, то выражение (19) определяет также и сглаженное значение $S(x, Q)$, необходимое для вычисления концентрации по (3):

$$S(x_0)/S(x) = \hat{U}(x)/\hat{U}(x_0).$$

Среднее время добегания между створами x_0 и x_1 определяется соотношением

$$t = \int_{x_1}^{x_0} \frac{dx}{\hat{U}(x, Q)}$$

или с учетом (19)

$$t = \frac{2}{\sqrt{\Delta}} \operatorname{arctg} \left. \frac{2a_3 x + a_1 + a_5 Q}{\sqrt{\Delta}} \right|_{x_1}^{x_0}, \quad (20)$$

где $\Delta = 4a_3(a_0 + a_2 Q + a_4 Q^2) - (a_1 + a_5 Q)^2$.

Примесь, выпущенная при $t = 0$ в ств. x_0, достигает за время t створа

$$x(x_0, t) = \frac{\sqrt{\Delta}\operatorname{tg}(\tilde{t}' - t\sqrt{\Delta}/2) - (a_1 + a_5 Q)}{2a_3}, \quad (21)$$

где $\tilde{t} = \operatorname{arctg}[(2a_3 x_0 + a_1 + a_5 Q)/\sqrt{\Delta}]$.

Коэффициент дисперсии (по распределению концентрации фосфора), вычисленный с помощью рассмотренной методики с применением (2), (3), (21), равен 13.6 м^2/с. Условный центр массы растворенного фосфора при $t = 0$ считался расположенным в 65 км от ств. г. Дубна, а $Q = 150$ м^3/с. Кривая, рассчитанная по (2), (3), (21), приведена на рисунке.

Оценка выполнения условий (5) при средних по x значениях производных, p и $\hat{U}$ при удалении от источника на 25 км показала, что правая часть неравенства в несколько раз превышает левую (при больших удалениях от источника это отношение увеличивается). Если для всего водохранилища среднее значение D_x равно 14 м^2/с, что хорошо согласуется с расчетом коэффициента дисперсии по распределению концентрации растворенного фосфора, то при рассматриваемом режиме течения выполняются и условия (4).

Таким образом, метод определения коэффициента продольной дисперсии по дисперсии скорости в створах дает в рассмотренных случаях удовлетворительный результат.

Авторы благодарят В.Д. Казмирука за помощь в работе над статьей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Быстров А.В., Клименко О.А.* // Вод. ресурсы. 1990. № 5. С. 174.
2. *Дебольский В.К., Долгополова Е.Н., Орлов А.С., Сеземан В.И.* // Динамика течений и литодинамические процессы в реках, водохранилищах и окраинных морях. М.: Наука, 1991. С. 84.
3. *Еременко Е.В.* // Динамика и термика рек и водохранилищ. М.: Наука, 1984. С. 61.
4. *Зельдович Я.Б., Мышкис А.Д.* Элементы математической физики. М.: Физматгиз, 1973. 351 с.
5. *Кюнж Ж.А., Холли Ф.М., Вервей А.* Численные методы в задачах речной гидравлики. М.: Энергоатомиздат, 1985. 355 с.
6. *Лучшева А.А.* Практическая гидрометрия. Л.: Гидрометеоиздат, 1983. 424 с.
7. *Никора В.И.* Русловые процессы и гидравлика малых рек. Кишинев: Штиинца, 1992. 144 с.
8. *Орлов А.С., Долгополова Е.Н., Дебольский В.К., Губеладзе Д.О.* // Вод. ресурсы. 1988. № 2. С. 80.
9. *Рогунович В.П.* Автоматизация математического моделирования движения воды и примесей в системах водотоков. Л.: Гидрометеоиздат, 1989. 264 с.
10. *Фидман Б.А.* Турбулентность водных потоков. Л.: Гидрометеоиздат, 1991. 230 с.
11. *Фрост У., Моулден Т.* Турбулентность, принципы и применения. М.: Мир, 1980. 526 с.
12. *Чоу В.Т.* Гидравлика открытых каналов. М.: Стройиздат, 1969. 464 с.
13. *Fisher H.B.* // J. Hydraul. Div. ASCE. 1967. V. 93. № 6. P. 187.
14. *Fukuoka S., Sayre W.W.* // J. Hydraul. Div. ASCE. 1973. V. 23. № 1. P. 195.